

# PENGARUH PEMBERIAN BAHAN PENGKONDISI TANAH TERHADAP SIFAT FISIK DAN KIMIA TANAH PADA LAHAN MARGINAL BERPASIR

Oleh : Sudaryono <sup>\*)</sup>

## Abstrak

*Di Indonesia, tanah-tanah marginal dengan kandungan pasir tinggi ( tanah vulkan berpasir kasar dan tanah berpasir digumuk-gumuk pantai), merupakan contoh dari banyak tanah bermasalah. Oleh karena itu upaya untuk mengatasi tanah bermasalah tersebut perlu dilakukan. Budidaya pertanian pada tanah pasiran akan dijumpai banyak kendala yang berkaitan dengan sifat fisik, kimia dan hidrologi tanah serta iklim yang kurang kondusif bagi pertumbuhan tanaman, lebih khusus lagi tanah tersebut mempunyai sifat mudah meloloskan air, kandungan bahan organik rendah serta suhu tanah yang tinggi, sehingga kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Dengan menambah bahan pengkondisi tanah maka telah dapat merubah sifat fisik dan kimia tanah. Perubahan fisik tanah tersebut mengarah pada berat volume tanah yang meningkat, porositas tanah menurun, permeabilitas tanah menurun dan kadar lengas tanah meningkat. Keberadaan mikroba didalam tanah memegang peranan penting dalam transpormasi yang menyebabkan perubahan dalam sifat fisik dan kimia tanah.*

**Kata kunci :** Lahan marjinal, bahan pengkondisi, sifat fisik, kimia tanah

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatan perekonomian ternyata telah berdampak terhadap kerusakan lingkungan hidup dan menyusutnya lahan pertanian subur. Pertumbuhan penduduk Indonesia telah meningkat dari 120 juta pada tahun 1968 menjadi 179 juta pada tahun 1990 dan 210 juta pada tahun 2000. Dengan tingkat pertumbuhan sebesar 1,97% pertahun, maka tahun 2020 diperkirakan jumlah penduduk Indonesia menjadi 250 juta jiwa. Dari jumlah tersebut sekitar 70%-nya tinggal di Pulau Jawa.

Akibat beralihnya fungsi lahan pertanian untuk kepentingan lain berdampak terhadap menyempitnya lahan pertanian, sehingga mendorong petani untuk mengusahakan lahan marginal yang kurang subur untuk usaha bercocok tanam.

Hal ini menjadi tantangan bagi para pakar tanah untuk dapat lebih memperhatikan akibat terjadinya keterbatasan ketersediaan sumber daya lahan dan kerusakan lahan

pertanian akibat penggunaan yang melebihi daya dukung lahan. Oleh karena itu peningkatan produktivitas lahan yang masih ada melalui rehabilitasi lahan kritis atau lahan marginal lainnya lebih penting dari pada membuka lahan baru untuk menambah produksi hasil pertanian.

Di Indonesia, tanah-tanah marginal yang berkandungan pasir tinggi (misalnya tanah vulkan berpasir kasar dan tanah berpasir digumuk-gumuk pantai), merupakan contoh dari banyak tanah bermasalah. Oleh karena itu upaya-upaya untuk mengatasi tanah bermasalah tersebut perlu dilakukan

Menurut Mulyadi (1972) tanah-tanah berpasir berpasir seperti ini mempunyai masalah antara lain : pada aspek strukturnya jelek, berbutir tunggal lepas-lepas, mempunyai berat volume tinggi, kemampuan menyerap dan menyimpan air yang rendah sehingga kurang memadai untuk mendukung usaha bercocok tanam, terutama di musim kemarau. Disamping itu tanah ini sangat peka terhadap pelindihan unsur-unsur hara, serta sangat peka terhadap erosi air maupun angin.

---

<sup>\*)</sup> Peneliti pada Kelompok Teknologi Konservasi dan Pemulihan Kualitas Lingkungan Lahan, P3TL- BPPT

Budidaya pertanian pada tanah pasiran akan menjumpai kendala yang berkaitan dengan sifat fisik, kimia dan hidrologi tanah serta iklim yang kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman, lebih khusus lagi tanah tersebut mempunyai sifat mudah meloloskan air, kandungan bahan organik rendah serta suhu tanah yang tinggi, sehingga keadaan demikian tidak menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman (Darmawidjaja, 1980; Gustafon, 1962).

Tanah pasiran merupakan tanah yang kandungan fraksi pasirnya dominan atau lebih besar 50 % fraksi total. Oleh karena itu sifat-sifat fisika dan kimia tanahnya lebih banyak didominasi oleh sifat-sifat fisika dan kimia pasir. Gustafon (1962) menyatakan bahwa secara umum tanah pasiran mempunyai tekstur kasar, agregatnya lemah sampai tak beragregasi, bersifat porus, kapasitas penyimpanan lengasnya rendah serta rentan terhadap erosi air dan angin.

Dalam kaitannya dengan daya menyimpan air, tanah pasiran mempunyai daya pengikatan terhadap lengas tanah yang relatif rendah, karena permukaan kontak antara permukaan tanah dengan air pada tanah yang teksturnya lebih halus dan tanah pasiran ini didominasi oleh pori-pori makro (Buckman and Brady, 1982; Islami T dan Utomo, 1995). Oleh karena itu air yang jatuh ke tanah pasiran akan segera mengalami perkolasi dan air kapiler akan mudah lepas karena evaporasi.

Bahan organik di dalam tanah akan mengalami penguraian (dekomposisi) oleh organisme tanah. Dekomposisi bahan organik di dalam tanah melepaskan unsur hara yang diikatnya menjadi senyawa sederhana yang mendekati kebutuhan bagi tanaman (Kohnke, 1968) dan selanjutnya dinyatakan bahwa fungsi dari bahan organik adalah sebagai sumber makanan dan energi bagi mikro-organisme, membantu keharaan tanaman melalui perombakan dirinya sendiri dan melalui kapasitas pertukaran humusnya, menyediakan zat-zat yang dibutuhkan untuk pembentukan dan pematapan agregat-agregat tanah, memperbaiki kapasitas mengikat air dan melewatkan air serta membantu dalam pengendalian limpasan permukaan dan erosi.

Salah satu produk bahan organik yang dihasilkan dengan pendekatan teknologi adalah biomikro. Biomikro ialah merupakan pupuk hayati (*bio fertilizer*) yang dihasilkan melalui pengembangan bioteknologi terapan dengan memanfaatkan berbagai jenis mikro-organisme alami yang bersifat menguntungkan

(inokulan) serta teknologi pengkayaan nutrisi, sehingga dapat bermanfaat bagi produktifitas tanah dan tanaman secara berkelanjutan dan akrab lingkungan (Anom Wibisono, 2000).

Pupuk organik mengandung berbagai jenis mikro-organisme yaitu *lactobacillus*, sp; *actinomyces*, bakteri pelarut fosfat; *azospirillum*; yeast; fungsi selulolitik; *penicillium*, sp; *rhizopus*, sp; *aspergillus*, sp; serta hasil metabolit biokimia berupa vitamin, asam amino, hormon, antibiotika alami dan unsur hara makro (N, P, K) dan mikro yang dapat diserap oleh perakaran tanaman secara berkelanjutan dan akrab lingkungan.

Menurut Anom Wibisono (2000), secara umum peran serta mikroba dalam biomikro adalah sebagai bakteri penambat N (*N-Fixing Bacteria*) yaitu menambat N bebas dari udara secara non-simbiotik sehingga tersedia bagi tanaman, bakteri pelarut P (*Solubilizing Phosphate Bacteria*) yaitu meningkatkan kelarutan P dalam tanah yang umumnya terakumulasi, bakteri fotosintesis (*Photosynthetic Bacteria*) yaitu bersifat asosiatif sinergisme dengan tanaman untuk memacu pembentukan hijau daun (*chloropile*), fungsi selulolitik (*celulotic fungus*) yaitu merupakan jamur/cendawan yang bersifat mendekomposisi bahan organik berselulosa menjadi senyawa atau unsur yang lebih sederhana sehingga dapat diserap oleh akar.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di pantai Glagah, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Untuk mengurangi porositas tanah dan meningkatkan kesuburan tanah maka ditambahkan bahan pengkondisi tanah (pupuk kandang, kompos) dan Em-4 sebagai starter. Adapun bahan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- ❑ Bahan : lahan percobaan, pupuk biomikro, pupuk kompos, jerami dan tanaman clereside
- ❑ Alat : peralatan pengukuran sifat fisik dan kimia tanah

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Keadaan Tanah Sebelum Percobaan

#### 3.1.1. Sifat fisik dan kimia tanah

Hasil analisis contoh tanah pasiran sebelum ditambah bahan pengkondisi dan biomikro dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 : Hasil Analisis Laboratorium pada Tanah Asli

No	Parameter	Satuan	Kedalaman Tanah cm	
			0-10	10-20
1.	Tekstur tanah			
	- Pasir	%	94,330	87,660
	- Debu	%	2,500	6,490
	- Lempung	%	3,200	5,850
2.	Kelas Tekstur		sandy	sandy
3.	Berat volume	gr/cm <sup>3</sup>	1,460	1,500
4.	Berat jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,650	2,680
5.	Porositas	%	44,910	44,030
6.	Permeabilitas	cm/jam	34,654	30,012
	Klas	-	sangat cepat	sangat cepat
7.	Bahan organik	%	1,370	1,340
8.	N-Total	%	0,110	0,070
9.	P tersedia	ppm	50,320	42,650
10.	K tersedia	me/100gr	0,230	0,190
11.	pH		5,910	6,130

Dari Tabel 1 tersebut di atas dapat ditunjukkan bahwa kondisi fisik tanah percobaan termasuk berstruktur tanah pasiran (berdasarkan klasifikasi segitiga USDA) dan struktur tanahnya granuler, porositas tanahnya sampai kedalaman 20 cm adalah 44,47%.

Porositas tanah yang besar ini karena penyusunan tekstur tanahnya didominasi fraksi pasir yaitu lebih tinggi (95,49%) dibandingkan dengan penyusunan yang lain yaitu lempung dan debu. Menurut Islami (1995) dan Hillil (1981) porositas untuk tanah pasiran berkisar antara 30% - 50%, sedangkan tanah pasiran ini mempunyai ruang pori makro yang sangat mudah untuk pergerakan air dan udara, sehingga porositas pada tanah yang banyak mengandung pasir cenderung tinggi.

Berat volume tanah pada kedalaman 0 - 10 cm adalah 1,46 gr/cm<sup>3</sup> dan pada kedalaman 10 - 20 cm adalah 1,50 gr/cm<sup>3</sup>. Kerapatan massa tanah dengan tekstur kasar mempunyai kisaran 1,3 - 1,8 gr/cm<sup>3</sup>. Penentuan berat volume tanah sebelum diolah dapat digunakan sebagai indikasi lapisan padat. Semakin padat lapisan tanah maka berat volumenya semakin besar. Berat volume tanah cenderung naik jika semakin dalam karena kandungan bahan organik yang semakin rendah, kurangnya agregasi dan terjadinya pemadatan.

Berat jenis tanahnya sebesar 2,65 gr/cm<sup>3</sup> (pada kedalaman 0-10 cm) dan 2,68 gr/cm<sup>3</sup> (10-20 cm). Berat jenis tanah penting artinya karena bersama dengan berat volume

dan porositas digunakan untuk mengetahui kemampuan tanah menyerap dan menyimpan air, dinamika air di dalamnya dan ketersediaan air dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman.

Permeabilitas tanahnya termasuk kelas sangat cepat yaitu 34,65 cm/jam (0-10 cm) dan 30,012 cm/jam (10-20 cm). Perbedaan permeabilitas ini tidak terlepas dari adanya berat volume yang berbeda yaitu semakin dalam maka berat volumenya semakin besar dan berarti semakin padat, itulah sebabnya pada kedalaman 10-20 cm permeabilitas tanahnya lebih rendah.

Sedangkan pada sifat kimia tanah pasiran menunjukkan bahwa tanah pasiran yang digunakan untuk percobaan adalah miskin bahan organik 1,34-1,37%, demikian pula unsur hara lainnya. N total: 0,07-0,11%; K tersedia : 0,19 - 0,23 ml/100 gram, kecuali kandungan fosfor tersedia yang relatif tinggi yakni 42,65 - 50,32 ppm. Menurut klasifikasi dari Kohnke (1968) tergolong ke dalam tanah yang kandungan unsur haranya rendah, meskipun unsur utama yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman semuanya tersedia, namun demikian jumlah dengan Hillel (1981) yang menyatakan bahwa tipe tanah seperti ini kurang baik untuk usaha pertanian karena terlalu banyak meloloskan air, mempunyai daya simpan air kecil, evaporasi besar, maka perlu sekali diadakan usaha perbaikan kesuburan fisik dan kimia tanah lebih meningkat.

### 3.1.2. Kandungan Mikrobia

Tabel 2 di bawah ini menunjukkan jenis mikrobia dan jumlahnya pada tanah pasiran, kotoran hewan dan jerami.

Tabel 2 : Jenis dan Jumlah Mikrobia

No.	Jenis Mikrobia	Jumlah mikrobia Cfu/gr
1.	Rhizobium SP	$3,25 \times 10^6$
2.	Bakteri pelarut posfat	$1,00 \times 10^6$
3.	Bakteri selulolitik	$9,20 \times 10^6$
4.	Aktinomicetes selulolitik	$1,47 \times 10^7$
5.	Jamur selulolitik	$5,0 \times 10^2$

Dari Tabel 2 tersebut di atas menunjukkan bahwa mikrobia Rhizobium Sp dapat memfiksasi nitrogen berjumlah  $3,25 \times 10^6$  Cfu/gr, dan bakteri yang melarutkan fosfat berjumlah  $1,00 \times 10^6$  Cfu/gr akan mendorong terapan P (Phosfor) dari fosfat sulit larut.

Mikrobia memegang peranan aktif dalam transformasi yang menyebabkan peru-

bahan utama dalam sifat fisik dan kimia tanah. Perubahan fisik mempengaruhi porositas, kerapatan massa, hidrologi dan permeabilitas, sedang perubahan kimia terpenting meliputi kelarutan ion hara seperti fosfat, kalium, sulfat, Ca, Fe, Cu, Zn, Mg, Co dan Mn sehingga meningkatkan ketersediaannya kepada biota tanah.

### 3.2. Pengaruh Perlakuan Selama Percobaan

Sifat fisik tanah yang diamati selama percobaan antara lain : berat volume (BV), porositas tanah (n), permeabilitas tanah (P) dan kadar lengas tanah (KL)

#### a. Berat volume tanah

Berat volume tanah berhubungan erat dengan jumlah total pori-pori; semakin besar jumlah total ruang pori akan semakin kecil berat volumenya. Hasil pengukuran berat volume seperti Tabel 3 di bawah ini :

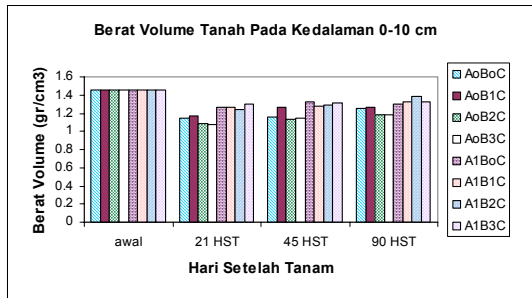
Tabel 3 : Perubahan Berat Volume (BV) selama Percobaan

No.	Perlakuan	Kedalaman (cm)	Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )			
			Awal <sup>*)</sup>	21 HST	45 HST	90 HST
1.	Ao Bo C	0 – 10	1,46	1,147	1,16	1,25
		10 – 20	1,50	1,31	1,29	1,33
2.	Ao B <sub>1</sub> C	0 – 10	1,46	1,17	1,26	1,26
		10 – 20	1,50	1,29	1,29	1,32
3.	Ao B <sub>2</sub> C	0 – 10	1,46	1,09	1,14	1,18
		10 – 20	1,50	1,28	1,25	1,32
4.	Ao B <sub>3</sub> C	0 – 10	1,46	1,08	1,15	1,18
		10 – 20	1,50	1,30	1,29	1,33
5.	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C	0 – 10	1,46	1,27	1,33	1,3
		10 – 20	1,50	1,34	1,42	1,4
6.	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C	0 – 10	1,46	1,26	1,28	1,33
		10 – 20	1,50	1,38	1,40	1,41
7.	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C	0 – 10	1,46	1,24	1,29	1,39
		10 – 20	1,50	1,27	1,34	1,37
8.	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C	0 – 10	1,46	1,30	1,31	1,33
		10 – 20	1,50	1,35	1,39	1,39

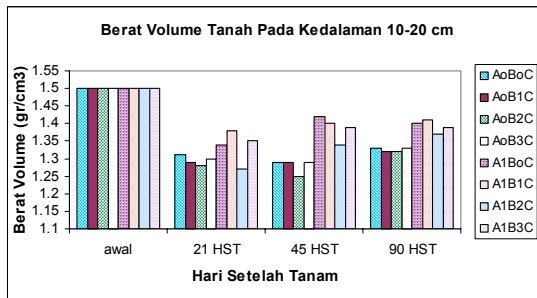
Keterangan :

Ao = Irigasi gembor  
A1 = Irigasi sub surface  
Bo = Jerami 30 ton/ha  
B1 = Kompos 10 ton/ha  
B2 = Kompos 20 ton/ha  
B3 = Clereside 20 ton/ha

C = Biomikro  
<sup>\*)</sup> = Sebelum diberi perlakuan  
HST = Hari Setelah Tanam



A



B

Gambar 1 : Berat Volume Rerata semua Perlakuan

Dari Tabel 3 Dan Gambar 1 tersebut di atas menunjukkan bahwa pada awal percobaan (tanah pasir) sebelum ada tambahan bahan pengkondisi tanah berat volumenya tinggi tetapi kemudian setelah ada penambahan bahan pengkondisi tanah yaitu 21 hari setelah tanam, berat volumenya mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena adanya pengolahan tanah dan pemberian bahan pengkondisi tanah, sehingga tanah lebih bergumpal dan menjadi longgar. Hal ini seperti dinyatakan oleh Hillel bahwa tanah yang lepas dan bergumpal akan mempunyai berat persatuan volume (kerapatan massa) rendah dan kerapatan massa yang terjadi ditentukan oleh banyaknya pori maupun oleh

butir-butir tanah padat. Lebih lanjut Hillel (1981) menyatakan bahwa besar kecilnya berat volume tanah sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh : i) tekstur tanah, dalam hal ini berat volume tanah terutama ditentukan oleh ukuran dan kepadatan jenis partikel, ii) kandungan bahan organik tanah, iii) struktur tanah atau lebih khusus bagian rongga pori tanah.

Setelah pengamatan yang ke tiga (45 HST) dan ke empat (90 HST) menunjukkan adanya perubahan berat volume (BV) baik pada kedalaman 0–10 cm maupun pada kedalaman 10–20 cm. Pada semua perlakuan rata-ratanya mengalami kenaikan berat volume atau tanah menjadi semakin padat meskipun belum sampai pada kepadatan tanah asal. Selain berat volume yang memegang peran penting adalah berat jenis tanah.

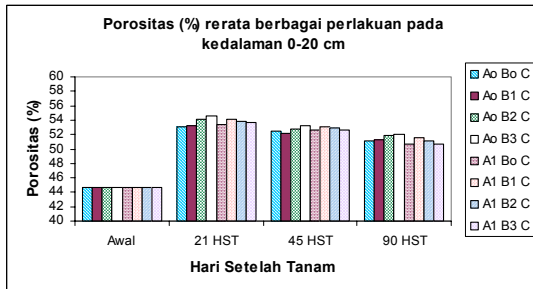
Berat jenis tanah adalah merupakan perbandingan antara berat tanah dalam keadaan kering mutlak dengan volume tanah yang bersangkutan. Untuk berat jenis, pengukurannya hanya dilakukan sekali yakni sebelum perlakuan dengan dua kedalaman yang nilai rata-ratanya 2,66 gr/cm<sup>3</sup>. Hal ini dilakukan karena dalam waktu percobaan yang singkat berat jenis suatu tanah tidak banyak mengalami perubahan.

#### b. Porositas tanah

Porositas tanah adalah merupakan perbandingan antara volume ruang pori (makro/mikro) dengan volume total contoh tanah. Pori makro berfungsi sebagai tempat lalu lintas air dan udara, sedangkan pori mikro berfungsi menyimpan air. Porositas tanah pada berbagai perlakuan dan periode pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4 : Porositas (%) Rerata Berbagai Perlakuan pada Kedalaman 0 – 20 cm

No.	Perlakuan	Porositas Tanah (%)			
		Awal <sup>a)</sup>	21 HST	45 HST	90 HST
1.	Ao Bo C	44,7	53,14	52,50	51,16
2.	Ao B <sub>1</sub> C	44,7	53,16	52,22	51,26
3.	Ao B <sub>2</sub> C	44,7	54,07	52,74	51,82
4.	Ao B <sub>3</sub> C	44,7	54,61	53,25	52,05
5.	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C	44,7	53,35	52,64	50,62
6.	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C	44,7	54,07	53,05	51,59
7.	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C	44,7	53,87	52,90	51,11
8.	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C	44,7	53,68	52,69	50,73



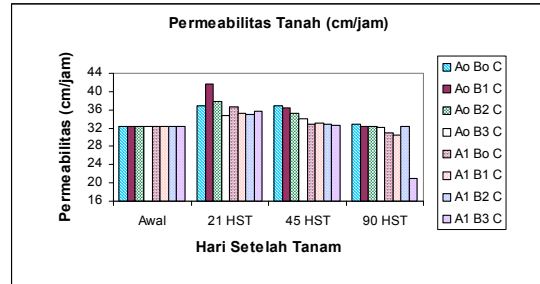
Gambar 2 : Porositas rerata (%)

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2 tersebut di atas menunjukkan adanya penurunan porositas selama pengamatan. Penurunan ini sejalan dengan peningkatan berat volume. Hal ini dimungkinkan adanya pemadatan tanah. Pemadatan tanah karena ruang pori terisi oleh partikel tanah terlarut dalam air melalui proses pengendapan. Porositas ditentukan oleh berat volume (BV) dan berat jenis (BJ), karena berat jenis nilainya tetap, dengan

demikian perubahan porositas mengikuti perubahan berat volume.

### c. Permeabilitas Tanah

Tabel 5 dan Gambar 3 di bawah ini menunjukkan perubahan permeabilitas tanah (cm/jam) selama percobaan.



Gambar 3 : Permeabilitas Tanah (cm/jam)

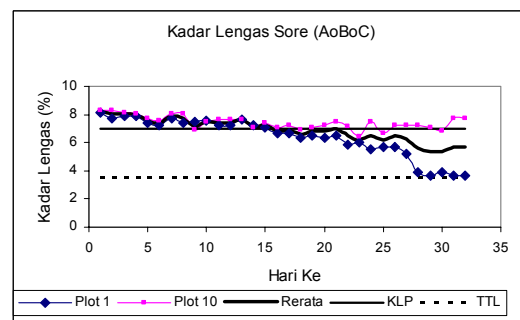
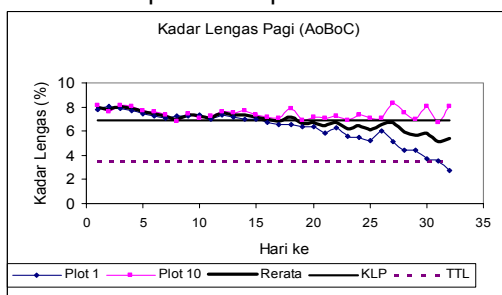
Tabel 5 : Perubahan Permeabilitas Tanah (cm/jam) pada 21 HST, 45 HST dan 90 HST

No.	Perlakuan	Permeabilitas Tanah (cm/jam)			
		Awal <sup>*)</sup>	21 HST	45 HST	90 HST
1.	Ao Bo C	32,33	36,94	36,9	32,78
2.	Ao B <sub>1</sub> C	32,33	41,72	36,46	32,47
3.	Ao B <sub>2</sub> C	32,33	37,81	35,27	32,39
4.	Ao B <sub>3</sub> C	32,33	34,75	33,93	32,19
5.	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C	32,33	36,55	32,94	30,89
6.	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C	32,33	35,16	33,12	30,56
7.	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C	32,33	34,95	32,77	32,44
8.	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C	32,33	35,76	32,52	20,91

Dari Tabel 5 dan Gambar 3 tersebut di atas menunjukkan bahwa terdapat penurunan permeabilitas tanah. Hal ini disebabkan adanya pemadatan tanah yang ditunjukkan dengan peningkatan berat volume dan penurunan porositas tanah.

### d. Kadar Lengas Tanah

Contoh fluktuasi lengas tanah dalam percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 : Fluktuasi Lengas Tanah

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar lengas tanah berada di atas kapasitas lapang atau di antara kapasitas lapang (6,99%) dan titik layu (3,49%) permanen. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa pemberian bahan pengkondisi tanah dan mikroba berakibat ruang pori mikro yang terbentuk juga banyak, dimana pori mikro merupakan

pori yang digunakan oleh tanah untuk mengikat air.

Sehingga semakin banyak ruang pori mikro yang terbentuk maka tanah akan mempunyai daya simpan lengas yang semakin meningkat, lengas tanah akan mengisi ruang pori-pori tanah, biasanya ruang pori tanah yang terisi adalah pori-pori besar, terlebih dahulu baru mengisi pori-pori mikro. Jika terjadi penguapan atau penggunaan air oleh tanaman maka pori-pori besar dahulu yang ditinggalkan oleh air lalu menyusul pori-pori mikro.

#### 4. KESIMPULAN

Dengan menambah bahan pengkondisi tanah maka telah dapat merubah sifat fisik dan kimia tanah pada lahan marginal berpasir sehingga kondisi tanah dalam keadaan menguntungkan bagi tanaman.

Perubahan fisik tanah tersebut mengarah pada berat volume tanah yang meningkat, porositas tanah menurun, permeabilitas tanah menurun dan kadar lengas tanah meningkat.

Keberadaan mikroba didalam tanah memegang peranan penting dalam transporansi yang menyebabkan perubahan dalam sifat fisik dan kimia tanah.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Anom Wibisono, 2000. *Biomikro, Pupuk Hayati untuk Kesuburan Tanah-Kesehatan Tanah dan Tanaman*. PT Bio Selaras, Jakarta
2. Buckman H.D. and Brady, 1982. *Teh Nature and Properties of Soil*. Mc. Millan Company, New York.
3. Darmawidjaya Isa, 1980. *Klasifikasi Tanah*, Balai Penelitian Tek dan Kina, Gambung.
4. EL-Asswad R.M and P.H. Groenevelt, 1985. *Hydrophysical Modification and its effect on Evaporation*. Journal of American Society of Agricultural Engineer, No. 28 (6) : 1927-1932.
5. Gustafon, 1962. *Soil Management*. Mc. Graw-Hill Book Company Inc. New York.
6. Hillel, 1981. *Fundamental of Soil Physics*. Academic Press, New York.
7. Islami T. dan Utomo, 1995, *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*. IKIP – Semarang Press.
8. Kohnke. H. 1968 , *Soil Physic*. Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
9. Mulyadi, D. 1972. Structural Problema of Indonesian Soils. Proc. Symp. On The Fundamental of Soil Conditioning, April, Ghent, Belgium, pp. 1062-1065

#### RIWAYAT PENULIS

Sudaryono, lahir di kota Yogyakarta pada tanggal 9 Februari 1952. Telah menyelesaikan pendidikan sarjana di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gajah Mada tahun 1978. Lulus pendidikan S2 dalam bidang Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gajah Mada. Saat ini bekerja sebagai Staf Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan – BPPT.